

Исследование было проведено в соответствии с постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 и в соответствии с планом работ по выполнению Договора №13.G25.31.0008 от 07 сентября 2010 г. «Создание и производство технических средств радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС с целью модернизации технологической базы аэрологической сети Росгидромета».

### Литература

1. Иванов В.Э., Плохих О.В. Некоторые результаты разработки системы радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных платформ GPS-ГЛОНАСС. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. Санкт-Петербург: 2009, вып. 6 (тематический выпуск «Широкополосные сигналы и системы»), с. 66-74. ISSN 1993-8985.
2. Иванов В. Э., Фридзон М. Б., Ессяк С. П. Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств; под ред. В.Э. Иванова. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 596 с.

## БАЗОВАЯ СТАНЦИЯ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ «ПОЛЮС»

*О. В. Плохих, О.А.Черных, В. Э. Иванов*

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

## BASE STATION OF NAVIGATIONAL UPPER AIR SOUNDING SYSTEM

*O. V. Plokhikh, O.A.Chernykh, V. E. Ivanov*

Системы радиозондирования атмосферы (СР), построенные на принципе слежения за аэрологическими радиозондами (АРЗ), запускаемыми с помощью шаров-зондов в свободную атмосферу, являются основным средством получения аэрологической информации в нашей стране и за рубежом для обеспечения краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды, предупреждения природных и техногенных катастроф, оценки их последствий и выработке

рекомендаций для уменьшения экологического ущерба в интересах народного хозяйства, а также для предсказания изменчивости климата в глобальном масштабе [1].

СР состоит из наземной базовой станции слежения (БС), антенной системы и запускаемого в свободный полет АРЗ типа МРЗ-Н1. СР «Поллюс» использует сигналы СРНС ГЛОНАСС и GPS [2]. Структурная схема БС показана на рис.1. Сигналы АРЗ принимаются антенно-фидерной системой (АФС)

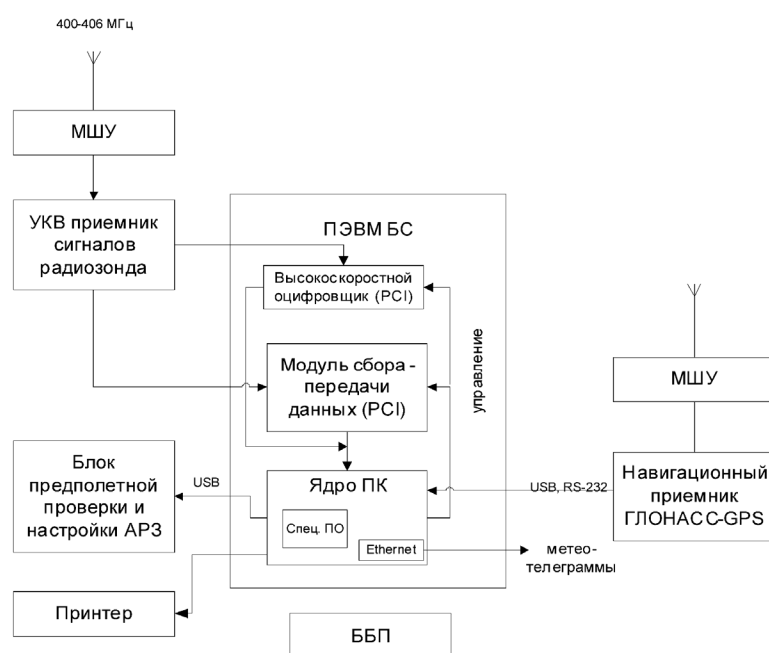


Рис. 1

приема сигналов АРЗ БС, поступают на УКВ приемник, который демодулирует сигнал АРЗ и передает его в ПЭВМ БС, где осуществляется окончательная обработка и сохранение информации. В АФС приема сигналов АРЗ входят 2 антенны (ближнего и дальнего канала) с маломощными усилителями (МШУ). Антенна ближнего канала используется при больших значениях угла места АРЗ и ограниченной дальности до 30-40 км. Антенна дальнего канала имеет приплюснутую диаграмму направленности по углу места и включается при приеме сигналов от радиозонда с углом места ниже 40 градусов и дальности свыше 40 км. Рассматривается также вариант применения направленной антенны с игольчатой диаграммой направленности с механическим приводом управления для увеличения рабочей дальности зондирования. В этом варианте управление приводом антенны должно осуществляться, исходя из измеренных координат АРЗ и БС. Интегрированный в ПЭВМ, модуль сбора данных оцифровывает сигнал, демодулированный УКВ приемником и управляет переключением ближнего и дальнего канала МШУ АФС БС. Для получения частотного спектра в рабочей полосе СР и оценки помеховой обстановки на вход высокоскоростного оцифровщика подается сигнал АРЗ на промежуточной частоте.

2 байта	2 байта	5 байт	2 байта	12 байта	24 байта	1 байт	2 байта
Преамбула	Заголовок	Время UTC	Статус	Координаты АРЗ	Скорость АРЗ	Кол-во спутников	Параметр влажности
4 байта	2 байта	2 байта	4 байта	4 байта	4 байта	4 байта	2 байта
Высота	Оценка точности координат	Оценка точности скорости	Период опоры	Период температуры	Резерв	Параметр температуры	контр. сумма

Рис. 2

Поскольку информационная полоса частот координатно-телеметрической информации не превышает  $\Delta F < 0,5$  Гц [1], ее обновление осуществляется с темпом раз в две секунды. Вносимая в радиоканал избыточность позволяет исправлять отдельные битовые ошибки, которые могут возникать вследствие воздействия помех, и многократно дублировать пакеты для борьбы с замираниями сигнала (в основном из-за пространственных колебаний АРЗ). Скорость передачи данных в канале составляет 2,4 кбит/с. Структура телеметрического пакета, передаваемого АРЗ показана на рис.2. Общая длина пакета равна 74 байт. Для скорости передачи 2400 бит/с это означает, что за 2 секунды можно передать 8 одинаковых пакетов. Такая избыточность позволяет обойтись без помехоустойчивого кодирования. Восстановление ошибочных битов выполняется путем корреляционного анализа нескольких смежных пакетов.



Рис.3

Мощность сигнала на входе приемного устройства на максимальном удалении оценивается равной минус 132/Вт дБ, а реальная чувствительность приемного устройства базовой станции должна быть не хуже минус 152дБ/Вт [3].

Характеристики радиоканала между АРЗ и БС СР «Полнос»:

- рабочая дальность радиозондирования 50 – 250 000 м;
- диапазон рабочих частот канала радиозонда 400 – 406 МГц;

- интервал канала 100 кГц;
- ширина полосы сигнала радиозонда 10 кГц, не более;
- мощность излучения передатчика радиозонда 100 мВт, не более;
- чувствительность УКВ приемника БС минус 153 дБ, не хуже;
- модуляция частотно-импульсная (ЧИМ), девиация  $\pm 2$  кГц, скорость 2400 бит/с;
- потребляемая мощность БС 400 Вт, не более.

Ширина диаграммы направленности по азимуту антенны БС канала радиозонда составляет 360 град. Коэффициент усиления – 6 дБ.

Среднеквадратические ошибки измерения: координат  $\pm 15$  м, скорости ветра  $\pm 0,7$  м/с, направления ветра  $\pm 1,5$  град. Инструментальная погрешность измерительного преобразователя радиозонда не более  $\pm 0,1$  °С по температуре и 1% по влажности.

Диапазон измеряемых метеопараметров: температура воздуха от -90 до +50 град; относительная влажность от 2 до 98 %; скорость ветра от 0 до 100 м/с.

Специалистами УрФУ в 2011 году при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. №218 был создан экспериментальный образец СР «Полюс» (рис.3). С целью оценки эффективности работы антенного комплекса, аппаратуры базовой станции и радиозондов МРЗ-Н1, определения реальных технических характеристик в условиях эксплуатации в ноябре 2011 г. на площадке № 6 космодрома Байконур были проведены сравнительные испытания СР «Полюс» и серийной радиолокационной СР на базе РЛС МАРЛ.

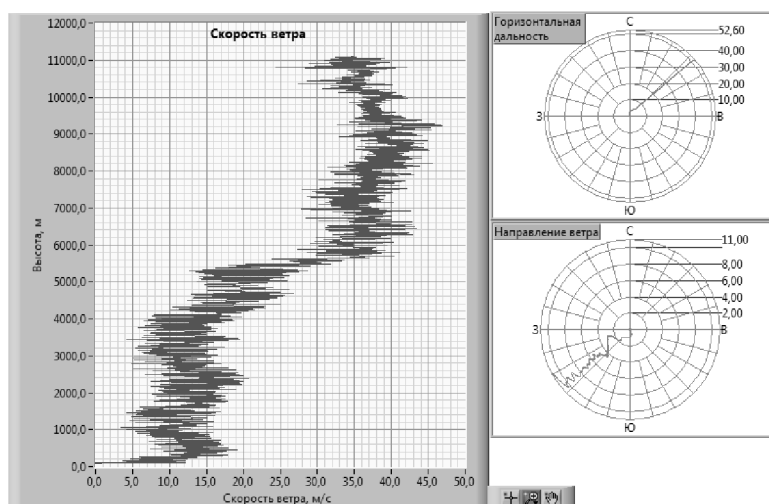


Рис. 4

Программное обеспечение БС по каждому запуску формировало телеграмму в виде таблицы с шагом выдачи данных по высоте в приземном слое (до 4 км) через 10 м и далее через 100 м. Средний уровень сигнала на входе приемного устройства на расстоянии 170 км был равен минус 120 дБ/Вт. Из этого можно сделать вывод, что аппаратура СР «Полюс» с хорошим запасом обеспечивает дальность зондирования не менее 250 км.

Необходимо отметить, что выпуски радиозондов МРЗ-Н1 происходили при значительной скорости ветра (до 56 м/с на высотах 4-10 км, см. рис.4) и показали дальность до 170 км. Навигационные GPS приемники радиозондов МРЗ-Н1 обеспечивали устойчивый прием сигналов 7-11 спутников, что контролировалось программным обеспечением БС СР «Полюс». Сигналы передатчиков радиозондов МРЗ-Н1 на частотах 400-406 МГц надежно принимались и расшифровывались во всем диапазоне достигнутых дальностей и высот при выпусках радиозондов.

Положительные испытания опытного образца навигационной системы радиозондирования «Полюс» показывают, что принятые технические решения и достигнутые показатели

соответствуют предъявляемым к современной СР техническим требованиям и могут быть использованы при создании серийного образца СР «Полнос».

### **Литература**

1. Иванов В.Э. Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств / В.Э. Иванов, М.Б. Фридзон, С.П. Ессяк; под ред. В.Э. Иванова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 596 с. – ISBN 5-7691-1513-0.
2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС / Под. ред. В.Н. Харисова, А.И. Петрова, В.А. Болдина. – 2-е изд. исправ. – М.: ИПРЖР, 1999.
3. Иванов В.Э., Плохих О.В. Некоторые результаты разработки системы радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных платформ GPS-ГЛОНАСС. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. Санкт-Петербург: 2009, вып. 6 (тематический выпуск «Широкополосные сигналы и системы»), с. 66-74. ISSN 1993-8985.

### **ГЕОРАДАР С СИНТЕЗОМ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*В.А. Добряк, Ал.А. Калмыков, Ан.А. Калмыков, А.С. Курilenko*

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина, abyd@mail.ru)

### **GEORADAR WITH THE SYNTHESIS OF THREE-DIMENSIONAL IMAGES**

*V.A. Dobryak, Al.A. Kalmykov, An.A. Kalmykov, A.S. Kurilenko*

Георадары [1] предназначены для мониторинга строительных конструкций, автомобильных и железных дорог, археологии и т.д. Развитие голографических принципов регистрации и реконструкции изображений в СВЧ-диапазоне привело к появлению радиоголографии и радиоголографических систем [2–4]. При этом большинство из существующих систем подповерхностного зондирования используют сверхширокополосные импульсные сигналы и позволяют получать плоские изображения разрезов.

В докладе представлен локатор подповерхностного зондирования, основные принципы работы которого заключаются в следующем: применение зондирующего сигнала с линейной частотной модуляцией; корреляционно-фильтровая обработка отраженного сигнала, внутреннего когерентности системы, радиоголографический синтез трехмерных изображений.

Цель применения этих принципов в получении высокой разрешающей способности по дальности за счет применения сверхширокополосного зондирующего сигнала, высокого углового разрешения за счет синтеза апертуры при использовании малогабаритных антенн.

В локаторе использована типовая для непрерывных ЛЧМ-сигналов схема с корреляционно-фильтровой обработкой отраженного сигнала с обобщенным гетеродинамированием. Эта схема внутренне когерентна и переносит весь дальнейший процесс обработки информации на низкую частоту сигнала биений.

Высокое угловое разрешение при использовании малогабаритных антенн достигается за счет синтеза апертуры.

Особенностью нашего решения является:

- синтез и визуализация объемных (3D) изображений;
- возможность применения произвольной топологии решетки положений антенн в пространстве (регулярная, случайная, плоская, объемная);
- свободный выбор координат синтезируемого объема и количества точек в нем.